

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 1月28日
Date of Application:

出願番号 特願2003-018787
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2003-018787]

出願人 日本原子力研究所
Applicant(s):

2003年12月 1日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康





【書類名】 特許願

【整理番号】 030128

【提出日】 平成15年 1月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01W 1/00

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県那珂郡東海村白方字白根 2 番地の 4 日本原子力
研究所 東海研究所内

【氏名】 大図 章

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県那珂郡東海村白方字白根 2 番地の 4 日本原子力
研究所 東海研究所内

【氏名】 加藤 政明

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県那珂郡東海村白方字白根 2 番地の 4 日本原子力
研究所 東海研究所内

【氏名】 赤岡 克昭

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県那珂郡東海村白方字白根 2 番地の 4 日本原子力
研究所 東海研究所内

【氏名】 丸山 庸一郎

【特許出願人】

【識別番号】 000004097

【氏名又は名称】 日本原子力研究所

【代理人】**【識別番号】** 100089705**【住所又は居所】** 東京都千代田区大手町二丁目 2 番 1 号 新大手町ビル 2
0 6 区 ユアサハラ法律特許事務所**【弁理士】****【氏名又は名称】** 社本 一夫**【電話番号】** 03-3270-6641**【選任した代理人】****【識別番号】** 100076691**【弁理士】****【氏名又は名称】** 増井 忠弼**【選任した代理人】****【識別番号】** 100075270**【弁理士】****【氏名又は名称】** 小林 泰**【選任した代理人】****【識別番号】** 100080137**【弁理士】****【氏名又は名称】** 千葉 昭男**【選任した代理人】****【識別番号】** 100096013**【弁理士】****【氏名又は名称】** 富田 博行**【選任した代理人】****【識別番号】** 100092015**【弁理士】****【氏名又は名称】** 桜井 周矩

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 051806

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9706383

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 大気中に浮遊する微粒子等の個数、粒径分布等を遠隔において計測するリモートパーティクルカウンター装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 レーザーレーダー装置においてレーザー出射地点より遠方にある大気中の浮遊微粒子（エアロゾル）からのレーザー照射によって生じた微粒子個々からの後方散乱光を画像として検出し、大気中に浮遊する微粒子等の個数、粒径分布等を遠隔において計測することを可能とするリモートパーティクルカウンター装置。

【請求項 2】 装置構成は、パルスレーザー、レーザー出射光学系、散乱光の集光光学系、散乱光の検出部である高速ゲート機能を有する高感度 2 次元光検出器（CCD カメラ等）及び制御計測系からなり、ある任意の距離はなれた大気中の限られた空間からの微粒子個々の発するレーザー照射による散乱光を画像として計測することが可能であることを特徴とする請求項 1 記載のリモートパーティクルカウンター装置。

【請求項 3】 高速ゲート機能は、高感度 2 次元光検出器においてレーザー出射からの任意の時間遅れ（遅延時間）の後、あるゲート時間幅内の散乱光信号強度を画像として検出するもので、これら遅延時間及びゲート時間を制御することによりレーザー出射地点より任意の距離にある大気中の限られた空間にある微粒子からの散乱光を画像として捕らえることが可能な請求項 1 記載のリモートパーティクルカウンター装置。

【請求項 4】 高速ゲート機能付き高感度 2 次元光検出器で計測される大気中遠方からの微粒子個々からの散乱光画像は、星雲状または斑点状の小さな点が集合したものであり、これを解析することにより大気中の限られた空間の微粒子の数、かつその点の輝度または強度により微粒子の粒径分布を計測することを可能とする請求項 1 記載のリモートパーティクルカウンター装置。

【請求項 5】 高感度 2 次元光検出器の高速ゲート機能によるシャッター時間の遅延時間及びレーザーの出射方向を連続的に各々変化、制御させることにより大気中の微粒子の数、粒径分布の広い範囲での空間 3 次元分布情報を得ることが

できる請求項 1 記載のリモートパーティクルカウンター装置。

【請求項 6】 遅延時間及びレーザーの出射方向を制御して得られた大気中の微粒子の数、粒径分布の空間分布の時間的な変化を捕捉し、解析することにより大気の流れ、風向情報を得ることを可能とする請求項 1 記載のリモートパーティクルカウンター装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、レーザーレーダー装置または別の装置等を用いて大気中の微粒子の計測を必要としている分野、特に大気中のエアロゾル、微粒子等を観測または検出する大気環境分析産業で利用できる。または、本発明は、自然現象及び様々な産業活動、交通車両などにより大気中に放出され、大気中を浮遊する S P M (suspended particulate matter: 浮遊粒子状物質)、ディーゼル粉塵等の有害環境汚染物質、火山などによる火山灰、スギ花粉の飛散状況等を追跡調査する必要がある気象産業、学術分野で利用できる。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来の技術では、地上及び室内において卓上型レーザー散乱式等のパーティクルカウンター装置またはインパクター装置等を用いて直接的、間接的に気中の微粒子情報である微粒子数及びその粒径分布を求めることは可能である（例えば、非特許文献 1、非特許文献 2、非特許文献 3、特許文献 1 参照）。しかし、これら装置では地上及び観測地点から数百 m、数 k m 離れた上空または遠方の大気中にある微粒子の数及びその粒径分布を直接的に計測することは不可能である。もし、これらの装置を用いて計測を実現しようとするならば、装置を地上及び観測地点から数百 m、数 k m 離れた任意の上空または遠方の大気中にまで運び設置して計測しなければならない。しかしながら、これを行うことは現実的に不可能である。

【0 0 0 3】

また、遠方の大気中の微粒子情報を得ることのできる従来のレーザーレーダー

方式（例えば、非特許文献 4、非特許文献 5、特許文献 2 参照）でも、大気中の微粒子個々からの散乱光強度を合計した一つの信号強度としてしか計測できないため直接的に大気中のエアロゾル、微粒子等の数、粒径分布を測定することは不可能である。

【 0 0 0 4 】

【非特許文献 1】

JIS・B9921・1989「光散乱式自動粒子計数器」

【非特許文献 2】

レーザ計測ハンドブック編集委員会編「レーザ計測ハンドブック」丸善株式会社、p. 229—234、1993

【非特許文献 3】

一条和夫著「光センシング技術の最新資料集」オプトロニクス社、p. 90—91、2001

【特許文献 1】

特開平8—86737号公報

【非特許文献 4】

杉本伸夫著「光センシング技術の最新資料集（光モートセンシングによる地球大気環境の可視化）」オプトロニクス社、p. 270—275、2001

【非特許文献 5】

南茂夫、合志陽一編集「分光技術ハンドブック（レーザーリモートセンシング）」朝倉書房、p. 581—591、1990

【特許文献 2】

特開2001—337029号公報

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】

従来技術の卓上型パーティクルカウンターでは、装置内に連続的に吸い込んだ大気中の空気にレーザー光等を照射して空気中に含まれる微粒子からの散乱光を一つずつ計測することによって単位体積中の微粒子の数、粒径分布等を計測することが可能であるが、大気上空の場所での計測は不可能である。レーザーレーダ

一方式なら遠方の微粒子の情報を計測することが可能であるが、従来のレーザーレーダー方式では、このような方法で遠方大気中にある微粒子個々からの散乱光を計測し、限られた空間に存在する微粒子の数、その粒径分布を直接算出することは不可能である。レーザーレーダー方式でこれを実現するには、大気中遠方の限られた空間にある微粒子にレーザー光を照射して、微粒子からの散乱光を一つずつ検出しなければならないという問題点がある。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明の方式では、レーザーレーダー方式を用いて従来のレーザー光の出射方式と大気中の微粒子からの散乱光の受光方式を変えることによって微粒子の数及び粒径分布の計測を同時に達成する。まず、パルスレーザー光をある程度の拡がり角をもって大気中に出射する。

【0007】

これによって大気中を拡がりながら伝播するパルスレーザー光は、大気中の微粒子に照射され散乱される。このときレーザー光の伝播方向と逆方向に発生する後方散乱光を高速ゲート機能を有するCCDカメラ素子等の高感度2次元光検出器で計測することにより大気中の個々微粒子を画像として計測することができる。この画像を解析することにより大気中遠方の限られた空間に存在する微粒子の数及びその粒径分布を求めることができる。

【0008】

【発明の実施の形態】

パルスレーザー光を、計測対象となる大気中の微粒子群からの散乱光が散乱光集光光学系の2次元光検出部に収まる程度に広げて、大気中に出射する。レーザー光の伝播中、大気中の広範囲に存在する微粒子群から後方散乱光が発生する。このレーザーの伝播方向とは逆方向に微粒子から発生する後方散乱光をレーザーの出射地点付近より望遠鏡等の集光光学素子に高速ゲート機能を有するCCDカメラ、MCP (Micro Channel Plate: マイクロチャネルプレート) 等の2次元光検出器で観測する。

【0009】

このとき、2次元光検出器の高速ゲート機能により、2次元光検出素子のシャッター時間及びレーザー出射からの遅延時間であるシャッタータイミングを制御すると観測地点より任意の距離にある大気中の微粒子個々より発せられる後方散乱光を画像として計測することが可能となる。画像は、点の集まった星雲状或いは斑点状のものとなり、それら点の数及び点の輝度（散乱光の強度）はパルスレーザー光が照射された任意の空間に存在する微粒子の数及び粒径を表すので、それらをカウントすることによって任意の限られた大気空間に浮遊する微粒子の数及び粒径分布を計測することができる。

【0 0 1 0】

即ち、図1は、本発明方式を実施したリモートパーティクルカウンタシステム概略図である。このシステムは、システム全体の制御及びデータを計測、解析する制御解析部1、パルスレーザー発生装置2、レーザー光を大気に向けて拡大して出射する出射レーザービーム光学系3、レーザー照射によって発生した微粒子からの後方散乱光10を検出器に集光する散乱光集光系4、高速ゲート機能を有する高感度2次元光検出器5から構成される。

【0 0 1 1】

産業用工場からまたは自然に放出され浮遊する微粒子群9がある程度の高さに拡がりを持って大気中に分布する。それに向けて、制御解析システム1によって制御されたレーザー発生装置2より出射レーザービーム光学系3を通してビーム拡がりの広いパルスレーザー光7をその領域に対して広範囲に照射する。大気中に分布する微粒子等から発した後方散乱光10を散乱光集光系4で高感度2次元受光検出器5に集光し制御解析システム1によって高感度2次元受光検出器を制御して微粒子群9の数及び粒径分布を計測する。さらにレーザーの出射方向6及び高感度2次元光検出器5の高速ゲートのレーザー出射からの遅延時間を制御することにより微粒子の数、粒径分布の大気空間分布を、かつその時間的変動を観測することによって大気の風向、風速データを得ることができる。

【0 0 1 2】

図2は、高速ゲート機能付きイメージインテシファイヤー付き高感度CCDカメラでの観測データを示す図である。直径約1cmのYAGレーザー光（波長

532 nm、パルス幅 1 ns 及びパルスエネルギー 30 mJ) を半角約 1° の角度で水平より約 20 度の角度で大気中に放出し、約 100 m 遠方の大気中の微粒子等より戻ってくる後方散乱光を当該 CCD カメラで計測したものである。このときのゲート幅 (シャッター時間) は約 3 ns である。図に写る白い斑点状のものは、レーザー発射位置より 100 m 先で直径約 3 m、長さ約 1 m の円筒空間に浮遊する微粒子群からの散乱光である。これらの白い点の数、及び輝度を計測することにより大気中に浮遊する微粒子の数、粒径分布を測定することができる。

【0013】

図 3 は、本発明の実施例によって得た大気中の微粒子粒径分布 (ヒストグラム) であり、図 2 で得られた画像データから大気中の微粒子個々より発せられる散乱光の斑点の数及びその輝度を解析し、その結果をヒストグラムにしたのものである。散乱光の輝度はその粒径にほぼ比例するとし、かつ通常浮遊する微粒子の最大径を $10\ \mu\text{m}$ 程度であることを考慮すると、下の水平軸である粒径の軸を当てはめることができる。通常地上で用いられる卓上型のパーティクルカウンターで得られるのと同様の微粒子の粒径分布データ (ヒストグラムデータ) が、本発明を用いることによって従来不可能であった大気中遠方の微粒子の粒径分布データを遠隔地点 (地上) から計測することが可能となる。

【0014】

【実施例】

以下、本発明を、その測定例または実験データに基づいて説明する。

(実施例 1) (測定例)

図 1 に本発明を用いたレーザーレーダー方式によるリモートパーティクルカウンターシステムの概略図を示す。装置は、パルス発振のレーザー装置 2、大気中に向けて広いビーム拡がりでレーザービームを照射する出射レーザービーム光学系 3、大気遠方からの後方散乱光を広範囲に 2 次元光検出器に集光する光学系 4、高速ゲート掃引機能を有する高感度 2 次元光検出器 5、システム全体を制御するシステム及び検出器で得られたデータを解析する解析システム 1 から構成される。

【0015】

まず、図1に示すように大気中に向けて、レーザー装置2よりビーム径を拡げてパルスレーザー光7を観測対象となる大気の領域に向けて照射する。パルスレーザー光7は、出射光学系3から出射された後、その径を広げつつそのレーザーパルス時間に相当する長さをもってほぼ円筒状に近い形で大気を伝播する。

【0016】

このパルスレーザー光7が通過する大気の空間領域からは、そこに浮遊する微粒子群から図のように後方散乱光10が発せられる。このレーザーの伝播方向6とは逆に発せられる後方散乱光10は、レーザー光伝播領域にある全ての微粒子からレーザーの伝播に合わせて次々に発生する。この後方散乱光10は、図1の集光光学系4である望遠鏡等の集光器により、高速ゲート機能を備えた（例えば高速、高感度MCPとCCD素子との組み合わせたもの）高感度2次元光検出器5の光検出面上に画像として検出することができる。

【0017】

この2次元光検出器5のゲート（シャッター）を開放の場合、近距離にある微粒子から遠方にある微粒子までの散乱光がレーザーの伝播に合わせて続々と集光されてしまい、どの画像がどの空間にある微粒子から発せられた散乱光かが見分けがつかなくなる。そこで高速ゲート機能を用いて2次元光検出器5に集光される散乱光を区切るために高速ゲート（短い時間幅）のシャッターをかけると、図1のようにレーザー通過領域の特定の領域にある微粒子群から発せられた後方散乱光10のみを選択的に画像として取り出すことが可能となる。

【0018】

さらに、シャッターを施すタイミングをパルスレーザーの出射時間よりある遅延時間に設定すると図1のようにレーザー出射地点より特定の距離はなれたレーザーの通過領域の限られた空間にある微粒子群からの散乱光のみを画像として取り出すことが可能となる。得られた画像は、図2のような点が集まった斑点状或いは星雲状のものとなる。即ち、パルスレーザー発生装置2からのレーザーパルス光7の出射時間からある遅延時間を持って2次元光検出器5のシャッターの開閉を短時間に行うと、図2に示されるレーザーパルス光の進行方向のレーザー出射地点から遠い位置にある空間の微粒子群の後方散乱光のみを2次元光検出器で

検出できる。

【0 0 1 9】

(実施例 2) (実験データ)

図 2 には、上述の計測装置において、直径約 1 c m の Y A G レーザー光（波長 5 3 2 n m、パルス幅 1 n s 及びパルスエネルギー 3 0 m J）を半角約 1° の角度で広角で大気中に放出し、約 1 0 0 m 遠方の大気中の微粒子等より散乱で戻ってくる後方散乱光を高速ゲート機能を有する高感度 2 次元光検出器であるイメージンテンシファイヤー付き C C D カメラで計測した画像データである。このときのゲート幅であるシャッター時間は約 3 n s である。

【0 0 2 0】

図 2 に写る白い斑点状のものは、レーザー発射位置より 1 0 0 m 先で直径約 3 m、長さ約 1 . 0 m の円筒空間に浮遊する微粒子がらの散乱光である。この画像の点の数と点の輝度はそれぞれ微粒子の数と粒径を表すので、これを解析することによって図 3 のように粒径分布を求めることができる。

【0 0 2 1】

微粒子に照射されるレーザー光強度と散乱光強度との関係は以下の方程式（1）に従い、その式からわかるように同一の地点で観測して、かつ微粒子が同形（球形）、同質の場合には、画像の点の輝度は散乱光強度を表すためほぼ散乱光強度から粒径を推定することが可能となる。よって、その輝度と数を解析することによって図 3 のような粒径分布を導き出すことができる。検出された微粒子からの散乱光の相対散乱光強度が最も高いものを粒径 1 0 μ m 程度とし、散乱光強度が粒径にほぼ比例すると仮定すると相対散乱光強度軸の下に示したような粒径を表す軸を設定するととができる。このようにして大気遠方にある微粒子群の数、密度及び粒径分布を求めることが可能となる。

【0 0 2 2】

【数 1】

$$I_s = \int_{\omega_c} I_i \cdot F(\theta, \phi, \alpha, m) / (kr)^2 d\omega \quad (1)$$

$$\alpha = \pi D_p / \lambda, \quad k = 2\pi / \lambda$$

【0 0 2 3】

(粒径が完全球形の場合)

I_s : 微粒子によるレーザー散乱光強度

I_i : 照射レーザー光強度

λ : レーザー波長

D_p : 微粒子の粒径

m : 空気と微粒子の相対屈折率

ω_c : 集光立体角

r : 微粒子から観測点までの距離

F : 微粒子の散乱関数

θ : 散乱光方向軸とレーザー伝播方向軸の水平角度差

ϕ : 散乱光方向軸とレーザー伝播方向軸の垂直角度差

(須田匡、塚田一也：「レーザーによる微細粒子計測技術」、センサー技術、7、2、(1987))

【0 0 2 4】

【発明の効果】

本発明により、従来の方法で不可能あった大気中遠方に浮遊する微粒子またはエアロゾル等の数及び粒径分布を測定することが可能となり、その空間分布を広範囲、精度良くかつ瞬時に測定することができるため火山の噴煙情報、または環境汚染物質による大気汚染、自動車排気ガスによる環境公害等の情報を瞬時に年確に得られる。

【0 0 2 5】

これら計測データが必要な環境対策に役立てることによって環境保護、保全に貢献することができる。またある工場施設等より有害な物質が大気中に誤って放

出された不測の事態に本発明を用いれば、施設周囲の住民及び通行者等に時々刻々変動する浮遊する有害微粒子の大気空間分布及び速度、方向等の時間的に正確な情報を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明方式を実施したリモートパーティクルカウンターシステム概略図である。

【図 2】 高速ゲート機能付きイメージインテシファイヤー付き高感度 C C D カメラでの観測データを示す図である。

【図 3】 本発明実施例によって得た大気中の微粒子粒径分布（ヒストグラム） 図 2 で得られた画像データから大気中の微粒子個々より発せられる散乱光の斑点の数及びその輝度を解析し、その結果をヒストグラムにしたのもである。

【書類名】 図面

【図 1】

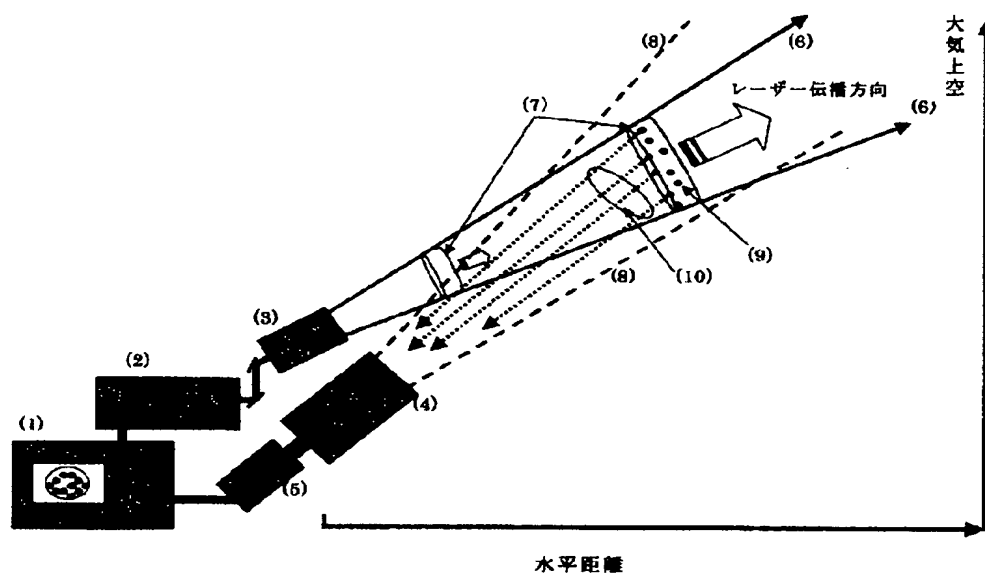


図 1

(1)システム制御及びデータ処理解析装置、(2)パルスレーザー発生装置、(3)拡大出射レーザービーム光学系、(4)後方散乱光集光学系(望遠鏡等)、(5)高速ゲート機能付き2次元光検出器 (6)レーザーパルス拡大伝播方向、(7)レーザーパルス光、(8)集光光学系視野、(9)レーザー伝播空間に存在する大気中の微粒子、(10)微粒群からの後方散乱光

【図 2】

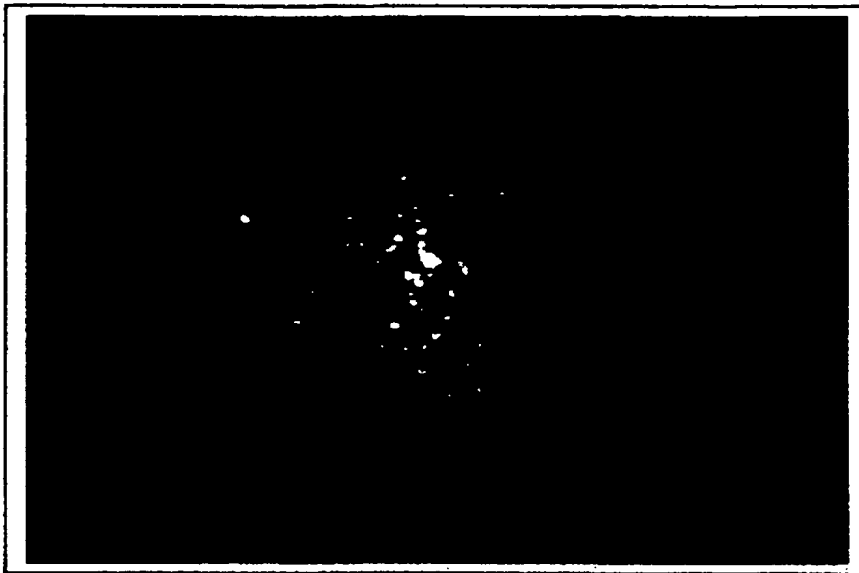


図 2

【図 3】

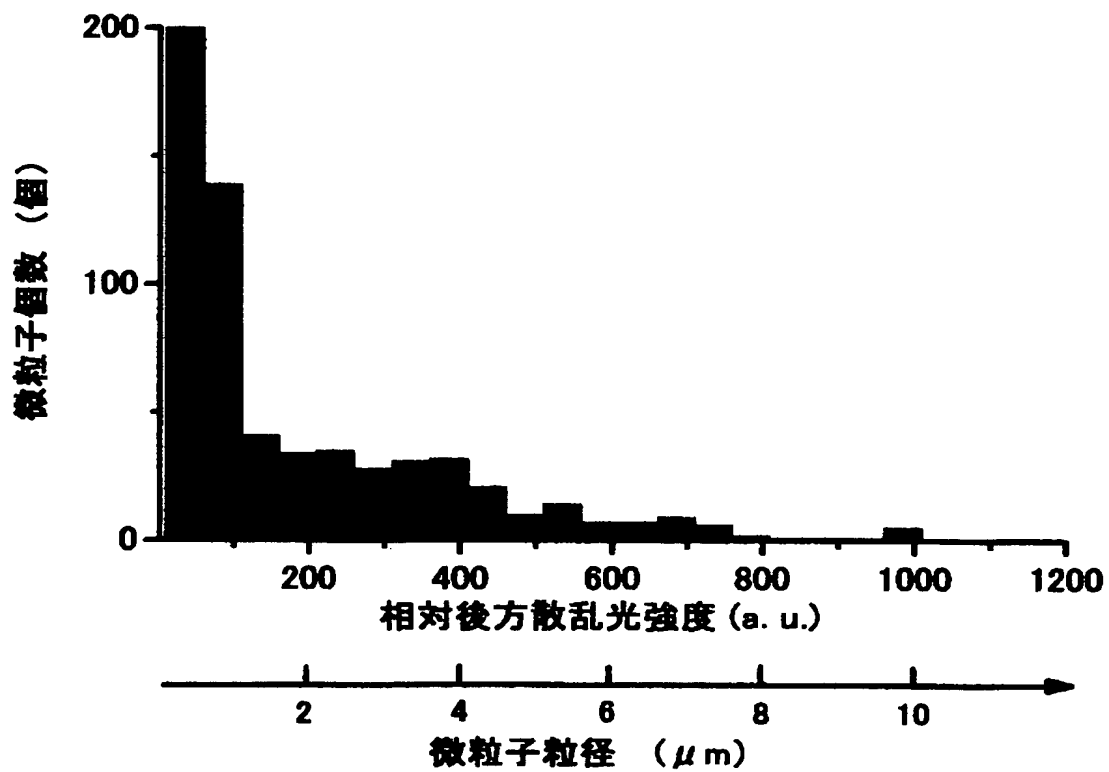


図 3

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 従来の技術では、地上及び室内において卓上型レーザー散乱式等のパーティクルカウンター装置またはインパクター装置等を用いて直接的、間接的に気中の微粒子情報である微粒子数及びその粒径分布を求めることは可能である。しかし、地上及び観測地点から数百m、数km離れた上空または遠方の大気中にある微粒子の数及びその粒径分布を直接的に計測することは不可能である。

【解決手段】 パルスレーザー、レーザー出射光学系、散乱光の集光光学系、散乱光の検出部である高速ゲート機能を有する高感度2次元光検出器（CCDカメラ等）及び制御計測系からなり、レーザー出射地点より遠方にある大気中の浮遊微粒子（エアロゾル）からのレーザー照射によって生じた微粒子個々からの後方散乱光を画像として検出し、大気中に浮遊する微粒子等の個数、粒径分布等を遠隔において計測するリモートパーティクルカウンター装置。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 3 - 0 1 8 7 8 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 0 9 7]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 1 6 日
 [変更理由] 新規登録
 住 所 東京都千代田区内幸町 2 丁目 2 番 2 号
 氏 名 日本原子力研究所

2. 変更年月日 2 0 0 3 年 1 月 2 7 日
 [変更理由] 住所変更
 住 所 千葉県柏市末広町 1 4 番 1 号
 氏 名 日本原子力研究所